

図1-6 我が国周辺の安全保障環境⁹

<対策>

洋上からの巡航ミサイル攻撃への対抗手段として、ミサイルを発射する艦艇に対する常続監視体制が確立されており、護衛艦、哨戒機、複数の衛星等により、24時間の監視が実施できるものの、これらは気象条件の影響を受け、細部の特定による艦船の識別までには至らない。

⁹ 防衛省(2022). 「令和4年版防衛白書」. Retrieved from: https://www.mod.go.jp/j/publication/wp/wp2022/w2022_00.html

空母艦載機による攻撃への対応は、発進した航空機の活動を制限することである。国土の陸域に対する攻撃に対しては、航空自衛隊が戦闘機及びPAC-3等により対処し、海上自衛隊がイージスシステム搭載護衛艦等により対処する。上陸侵攻を企図する艦艇に対しては、護衛艦及び哨戒機が装備する対艦ミサイル（SSM）で対処する¹⁰。

米国を含め、西側諸国には極超音速ミサイルに対処する有効な方法はない。無人機に対しては、物理的撃破、サイバー攻撃による無力化などの方法が考えられるが、現時点においては有効な対応策がない状況である。中国、ロシア及び北朝鮮が極超音速兵器の実用化を進める中、日米は、2023年1月に極超音速ミサイルの迎撃技術を共同で研究することに合意した¹²。米国はすでにGPI（Glide Phase Interceptor）計画と呼ぶ迎撃システムの構築に着手しており、迎撃ミサイルの共同開発に向けた検討も開始するとしている。

脅威④ わが国に対する主権の侵害

<現状>

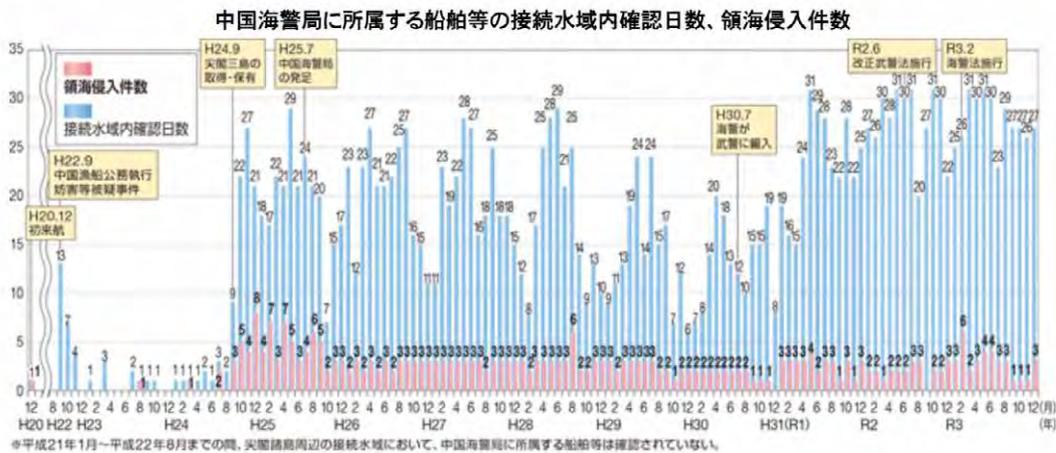
我が国において主権の侵害の発生が想定される差し迫った事案は、台湾海峡の平和と安定に関する問題であり、この場合、尖閣諸島に対する問題が同時に発生する恐れがある。尖閣諸島においては、警察機関である海上保安庁が一義的に領海警備を行っているが、海上保安庁の能力を超える事態が発生した場合、海上警備行動の発令により、海上自衛隊が警察活動を行うよう法整備がなされている。

例えば海上民兵による不法行為が行われた場合、一義的には法執行活動として海上保安庁が対応し、事態がエスカレートしてその能力を超える場合には海上自衛隊による海上警備行動、さらに武力攻撃事態の認定が行われた場合は、自衛隊に防衛出動が下令される。また、重要影響事態が認定された場合は様々な米軍の支援も行われることになる。

¹⁰ 防衛省. (2022). 「令和4年防衛白書」

¹¹ 防衛省・自衛隊. 「各種事態への対応」

¹² Department of Defence. (2023). DOD, Japan MOD Sign Technology and Security of Supply Arrangements. Retrieved from: <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3267110/dod-japan-mod-sign-technology-and-security-of-supply-arrangements/>



中国海警局に所属する船舶等の年間の接続水域内確認日数

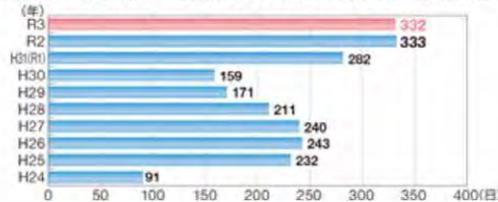


図1-7 中国海警所属船舶の接続水域内確認日数及び領海侵入件数の推移¹³

<対策>

我が国では、海上保安庁と海上自衛隊の役割分担が法令上明確に区分されている。これを前提に、所謂グレーゾーン事態において有効な対処が可能になるよう、共同訓練等を通じて更なる連携強化を図っていくことが必要である。我が国は、南西諸島方面への陸上自衛隊の部隊配置を進めており、これによって侵攻の意図を抑止するとともに、侵攻が行われた場合にそれを撃破する体制を強化する必要がある。

脅威⑤ 占領

<現状>

我が国周辺で、水陸両用戦部隊等による強襲上陸能力を有しているのは中国である。中国では、2022年4月に2隻目の強襲揚陸艦「075型」が就役した。近年、大型ミサイル駆逐艦も複数就役し、台湾海峡での活動を念頭に置いた海軍力の増強が進んでいる。

また、北朝鮮による拉致事件を想起するまでもなく、特殊部隊やゲリラの侵入の監視も十分ではない。過去の事例から、こうした侵入は監視が困難な夜間等に行われることが予想される。

¹³ i bid.

我が国の対応の現状としては、外国の特殊部隊が離島に上陸する事態を想定した対応訓練などを、自衛隊、海上保安庁及び沖縄県警察本部が連携して行っている。我が国領土への武力攻撃である上陸作戦が行われた場合、日米安全保障条約第5条により日米共同で対処することが想定される。



図1-8 中国強襲揚陸艦「075型」(CCTV)

<対応>

夜間等を狙った特殊部隊やゲリラの侵入に対しては、洋上から海岸線まで切れ目なく監視するシステムを構築し、特に光学カメラと赤外線カメラの併用により、夜間の監視能力も備える必要がある。特に海上保安庁や警察等が実施する密輸・密入国の監視においても有効な情報共有体制を構築すべきであり、ここでもMDAの体制強化が望まれる。

自衛隊と海上保安庁の連携にとどまらず、在日米軍及び米国政府と平時から十分な情報共有を行い、机上演習（ウォーゲーム）などを通じ、あらゆる事態を想定した準備を行う必要がある。

脅威⑥ 避難民への対応及び国民の保護

<現状>

朝鮮半島や台湾海峡での有事において想定しておかなくてはならないのは、大量に発生する避難民への対応である。特に北朝鮮からは、漁船等の小型船が数多く来航する可能性がある。加えて、中国には11万人、台湾には約2万人の在留邦人がおり、我が国領土への武力攻撃が同時に発生した場合、自衛隊は前線への部隊輸送に勢力を割かれるため、邦人保護のための輸送の確保が問題となる。台湾海峡での有事が尖閣諸島に及んだ場合、最前線となる沖縄の与那国島・宮古島・石垣島等の、10万人を超える国民の保護も重要な課題である。

対策として、どのような形態の攻撃を受けた場合でも対処できるように、国民の被害をできる限り抑えるためのシミュレーションが政府において現在進められている。

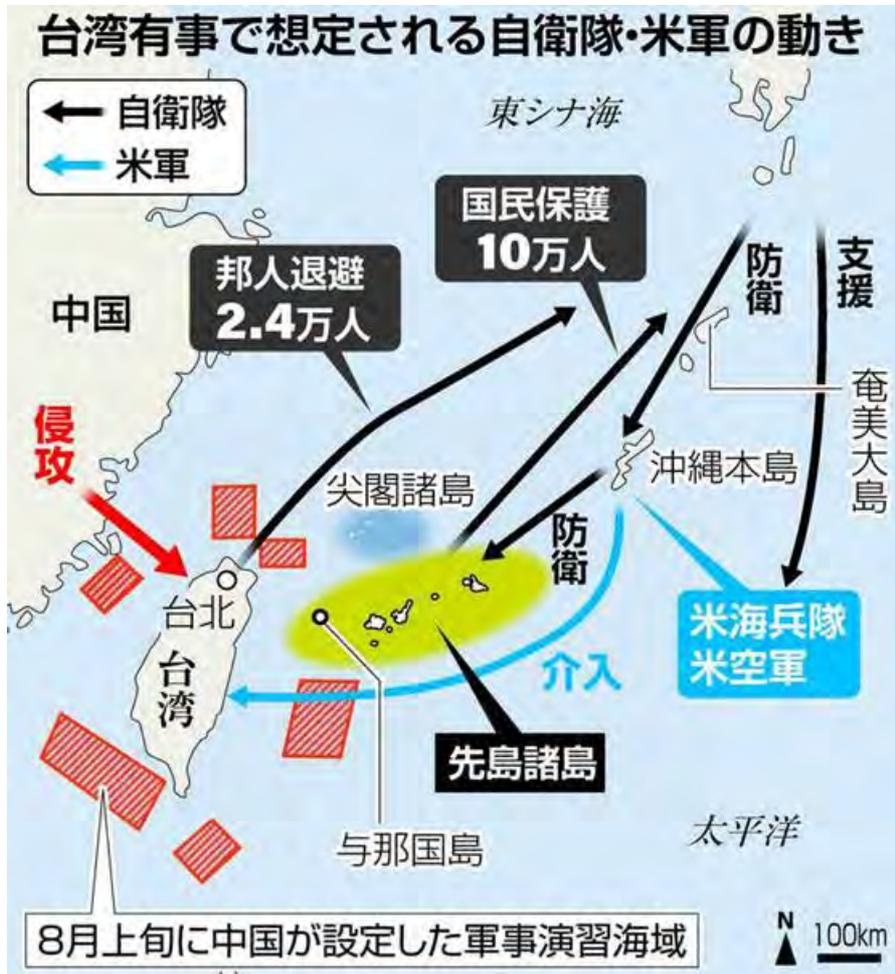


図1-9 台湾海峡における有事の際の自衛隊・米軍の動き(産経)

<対策>

日本に来航した避難民を送還することは人道的観点から難しく、難民認定までの保護施設、認定後の生活保護などの問題が生じるため、大量の避難民への対応は大きな課題である。加えて、国民保護に係る対応として、各自治体単位の訓練に加え、先島地区及び沖縄本島地区においては、島外避難も含めた、自治体をまたがる訓練を実施する必要がある。自主的退避では間に合わない可能性が高く、早期に退避できる仕組み作りが急務である。事前に兆候を掴み、早期に航空機や船舶を手配することが最善の対策であることから、やはり平時のMDA強化が望まれる。同時に、大量の避難民に対する対応についても、あらかじめ各自治体と連携したシミュレーションを実施しておくことが望ましい。

第2節 物流

脅威① 事故

海運は国内外の貨物輸送の大半を担っており、各国の経済のみならず、国際的な経済の枠組を確保するためにもその安定維持が不可欠である。一方で累次の海難で環境中に放出された積載物、特に積載油や燃料油による海洋汚染は甚大なものであり、船舶の事故を極少化することは、経済及び環境の両面から極めて重要である。

衝突、座礁、沈没、故障等の海難やハイジャック等の原因として、操船ミス（人的要因）、海図の誤り（調査不足）、気象海象（自然）、船体構造（技術）、海賊（外部からの攻撃）等が挙げられる。

船舶事故は、物流を阻害することで、社会の経済活動に大きな影響を与え、事故により生じる環境破壊は社会への重大な脅威となる。以下に、事故を回避するための対策を、有効性の順に示す。

<船舶運航の自動化>

船舶運航の自動化（機械による操船支援）により、

- 1) 海事事故原因の多くの割合を占める人的要因を極小化できる。
- 2) 船員不足問題への対策となりうる。

さらに、究極的な自動化である無人化が実現すれば、

- 1) 船員の質的・量的課題（過誤による事故を含む）を解決できる。
- 2) 人間の乗船に必要な構造上の要件や、運航に伴って生じる負荷（居住区画・医療・食事・水の確保、排水・廃棄物対策等）を無くすことができ、船体構造の合理化と運航費の削減が可能になる。
- 3) 入り口や窓を必要とせず、海賊の襲撃に対して有効である。
- 4) 人間の心理に対する配慮が不要なため、全水没型の船型によりエネルギー効率を大きく高めることができる。

このため、船舶運航の自動化は、最終的な無人化を目標に全力を挙げて進めるべきである。このための技術的課題としては、以下が挙げられる。

- 1) 位置情報が極めて重要になるため、GNSSが機能しない場合に備えた独立の測位システムが必要である。
- 2) 周辺状況を把握するための高度なセンサーが必要である。
- 3) 状況把握及び異常事態発生時に陸上から操船するため、陸上との間に広帯域かつ信頼性の高い通信手段が必須である。
- 4) 無人での完全自動操船には、大量の情報を迅速に処理し、自律的に判断して操船する能力が必要である。陸上から操船する場合であっても、陸船間の通信が途絶した場合に自律的に安全を確保するAI機能が船側に必要である。

完全無人運航の場合、制度的課題も検討が必要である。現在の海事法制は船員の乗り組みを前提としているため、無人船の運航においては、船長の責務・責任を誰が負うことになるのか等、国内外の海事関係法制度の見直しが必要である。

<船体構造の高度化>

過酷な気象・海象下で発生する転覆や船体損傷による沈没は、気象・海象を正確に予測することで、ある程度の対応が可能である。また、想定される最も過酷な条件においても転覆や損傷を生じない船体構造（及び操船技術）も不可欠である。

こうした要件を満足しないサブスタンダード船の排除は重要であるが、一方で我が国の造船所が建造した船齢5年のMOL COMFORTの船体に異常を生じたことから、船体構造については、一層の知見の向上と制度化が必要である。

この際、脱CO₂の流れを受けた帆走船、水没型船等、従来にない船型も考慮する必要がある。また、LNG、水素、アンモニア、電力等、重油以外のエネルギー源を使用する船舶では、エネルギー貯蔵庫の位置、容量、形状が従来船と異なるため、これらを含めた考慮が必要である。

<巨大海洋波(Freak Ocean Wave)の解明>

船舶運航にとって極めて危険なフリークウエーブについては、どのような原因により、いつ、どこで発生するか、という地球物理学的研究を進展させる必要がある。一方で、フリークウエーブの発生状況をリアルタイムに把握するためには、高分解能の海面高度の把握が有効である。これは、合成開口レーダー（SAR）による海面高度の常時観測と、これによって得られる膨大な量のデータを即時に解析することで可能になると考えられる。

<サブスタンダード船対策>

サブスタンダード船を排除する方向に働く、効果的な逆インセンティブを制度として確立することが必要である。

一方で、我が国のEEZ内に存在する全ての船舶の形状と挙動を把握することで、サブスタンダード船をある程度抽出することが可能である。このため、EEZの全域にわたり、船舶の高解像度の画像・形状情報を取得し、リアルタイムで解析することが考えられる。

脅威② 船舶の安全航行の阻害及び海賊・テロ行為

<航行の自由の確保>

海運の安定維持は、国際的な経済の枠組を維持するために不可欠である。船舶の安全運航を阻害する要因の一つに海賊・テロ行為が挙げられる。これらを抑止するため、国連海洋法条約の規定の実効性のある担保が必要である。一方で、我が国のEEZ内に所在する全ての船舶の形状と挙動を把握することで、サブスタンダード船を抽出可能と考えられ。このため、EEZの全域において、船舶の画像・形状情報を高分解能で常時取得し、リアルタイムで解析することが考えられる。

<海賊対策>

海賊行為は、沿岸国の経済活動の一部となっている面があることから、沿岸地域に対する経済支援や経済発展の実現により、地域の人々がリスクのある海賊行為に関与する必要のない社会の形成を支援することが有効である。

<テロ対策>

テロについては、海上における各種の活動を把握するための高分解能モニタリングが有効である。また、海底の状態の把握（AUVのサイドスキャンソナーによる定期的自動測量等）により、海底の経時変化から、機雷敷設等の敵対的行為の可能性のある異常を検出でき、これは既に米国で実施されている。

<特記事項 AUV>

AUV（自律型無人潜水機）については、以下の項目において有用性を指摘した。

3-2	テロ対策	海底の定期観測
5-1	地震・津波	海底地形・地質の高分解能測量
5-4	メタンハイドレート	海底表面の高分解能繰り返し観測

AUVの活用を阻む原因として、以下が考えられる。

1)	高価格	入手の困難性
2)	母船からの常時監視が必要	亡失対策
3)	電源供給	定期的な船上回収の必要性
4)	揚収	荒天を常に意識する必要

安価なAUVが利用可能になれば、母船から多数（N機）を同時運用することで、母船のオーバーヘッドコストをN分の1にできる。また、価格が十分に安くなれば、亡失を恐れて母船から常時監視する必要性がなくなること（母船の張り付きを必要としないため飛躍的に運用費を低減できること）も指摘したい。

電源を海底の基地、または海中の給電プラットフォーム（母船やASV（自律型無人洋上機）から海中に吊り下げたもの）から供給できれば、定期的な揚収が不要になる。また、海中または海底で電源を供給できるようになれば、安全サイドに（突然の荒天で揚収できないうちに電力不足で回収できなくなる事態を避ける）作業計画を作成・変更、すなわち天候悪化を予測して作業を中断し、AUVを回収する必要がなくなり、作業効率と経費効率が大きく向上する。

ASVが多数のAUVの監視、給電及びデータの吸い上げを行えるようになれば、母船はAUVの投入とミッション完了後の揚収のみを行えばよく、母船関連の経費を大きく下げることができる。

脅威③ 情報・通信障害

<現状>

情報伝達の障害は、船舶の安全航行の致命的な問題となる。情報や通信の途絶は、政治情勢や自然現象によっても発生しうる。

GPSによる位置情報は、船舶運航はもとより海上工事や法執行等、海事のあらゆる場面で不可欠なものとなっている。一方、GPSはシステムを運用する米国が、精度や可用性まで制御可能であり、有事の際の精度劣化や、全く使用不能になる可能性もあることもありうることに留意が必要である。また、電磁パルス攻撃に対して脆弱で、さらに大規模な太陽フレアが発生した場合、GPSや我が国の準天頂衛星を含め、衛星航法システム（GNSS）は悉く機能を失うと言われている。

GNSSに依存しない測位方法としてはロランCやオメガがあるが、オメガは1997年に運用を停止し、現在ロランCを運用しているのはサウジアラビア、インド、中国及び韓国のみである。英国及び米国は、GPSの脆弱性に鑑み、安全保障の観点からロランCを改良したeロランの運用を計画し、韓国は北

朝鮮からのGPS妨害を受けているため、米国のeロラン計画に賛同した。しかし英国はノルウェー及びフランスがロランCの運用を停止したこと、また米国はオバマ政権がGPSで十分であると決定をしたことで、いずれも運用段階に入ることはなかった。

<問題点>

衛星測位システム (GNSS) の安定性

GNSSの信号は、スペクトル拡散という手法により暗号化されているため、運用者のコード制御によってGNSSを使用不能にすることが可能である。しかしながら、米国が民生用のGPSを突如使用不能にすることは考えにくい。以前は、有事において米国が Selective Availability による意図的精度劣化を行う可能性があったが、2007年の米国大統領令でSAの機能を持つ衛星を調達しないこととなったため、GPSの現在の精度は今後も維持されると考えて良いと思われる。しかし、中国の「北斗」やロシアの「GLONASS」については、この点が明確ではない。

一方、太陽フレアや意図的な宇宙での核爆発による電磁パルスによりGNSSが機能を失うことは想定しておく必要がある。太陽フレアは今後強くなることが予想されている。また、核爆発によって、強力な電磁パルスが生じ、電子装置が影響を受けることが知られている。このように本質的に脆弱なGNSSを補完する必要が指摘され、eLORANと呼ばれる強化型のロランCが開発され、2014年から英国で運用が開始されたが、隣接国がロランCの運用を2015年末で停止したため、eLORANもこれに合わせて運用を停止してしまった。ただし、英国は依然として研究開発用にeLORANの電波を現在も送信している。eLORANは位置精度が8m程度と報告されており、GPSの補完が可能と考えられている。

一部の海域ではセーフティネットとしてロランCが維持されているが、世界中をカバーするものではない。現在、ロランCを運用している国は、サウジアラビア(3局)、インド(4局)、中国(6局)及び韓国(1局)だけである。

リアルタイムの正確な位置情報を前提にした、電子海図を始めとする運航システムが船舶で用いられており、GNSSが利用不能になると、船舶の安全運航に深刻な問題が発生する。これを代替する測位システムが事実上存在しない現状では、ほとんどの船舶の安全運航が極めて困難になる。特に船舶の自動運航化においては重大な課題である。ロランに先立ちオメガも廃止され、現在外洋航行する船舶が位置決定に使える手段は天測だけであるが、国際条約で天測暦等天測に必要な書籍を船舶に備置する義務がなくなり、海上保安庁は天測暦等の書誌の刊行を令和4年末で廃止した。このため、天測による位置決定は困難になっている。なお、GNSSへの過度の依存は航海だけの問題ではなく、航空においては一層深刻な問題である。

スペクトル拡散方式を用いるGNSSは、原理的に妨害に強いとされているが、偽信号や妨害信号によりGPSが使用不能となった現象は既に報告されており、近年では北朝鮮国境付近で航空機が位置情

報を失ったとの報告がなされている。また、太陽フレアや意図的な宇宙での核爆発によりGNSSが機能を失うことを想定した代替システムの構築を急ぐ必要がある。我が国の準天頂衛星はGPSを補強・補完するものとされているが、太陽フレアや核爆発に伴う電磁パルスに対してはGPS同等脆弱であり、この点ではGPSを補完できるものではない。

<今後検討を要する事項>

- 1) GNSSを補完・代替する測位システムの検討
- 2) GNSSが使用できなくなった場合の危機対応策の検討
- 3) 海底ケーブルの脆弱性対策の検討

1) GNSSを補完する測位システム

我が国では、準天頂衛星「みちびき」がGNSSを補強・補完する機能を有している。また、高度約20km以上の高度に滞空する成層圏プラットフォーム（成層圏気球やソーラープレーンなど）により、GPSが機能しない場合でも高い精度を得られる、わが国独自の測位システムを構築することも可能である。こうしたシステムは、GNSSとの互換性を持たせ、通常時はGNSSの補強システムとして活用することが適当である。このようなシステムにより、GPSの機能低下時においても測位精度を維持でき、平時においてはGPSの精度を補強できる。ただし、電磁パルス攻撃や大規模な太陽フレアの際には、GPS同様に機能しなくなる。成層圏プラットフォームについては後述する。

あるべき姿及び具体的対処

GNSSが利用不能になった場合でも、船舶の安全運航を継続することができる測位システムを整備する。候補としては、衛星コンステレーション（多数の小型衛星群）による独立した宇宙通信システムや、携帯電話の基地局等として開発が進められている成層圏プラットフォーム（HAPS）への測位機能の付加、地上波を利用するeLORAN等がある。これらを活用し、非常時用の測位手段を確保する。なお電磁パルス攻撃や大規模な太陽フレアが起きた場合、電子装置はいずれも使用不能になる可能性があり、地上系の測位システムであるeロランも機能しなくなる可能性がある。このような場合に何が起きるか、どのようにすべきかの検討も必要であり重要である。

現在の技術レベル

GNSSの補完・代替には、衛星コンステレーション、成層圏プラットフォーム、廃止されたロランの再構築等が考えられる。

今後の見通しについて、前2者は日本のみでは構築困難で、アライアンスによる管理が必要となり、後者はコストが比較的安い精度とカバレッジに限界がある。

衛星コンステレーションについては、Starlinkなどの高速通信網が整備されつつあるが、GNSSの補完という観点からは、簡易なシステムであることが望ましい。船舶の位置情報を送信するAIS（Automa

tic Identification System) が、双方向データ通信が可能な、AIS2.0ともいべきVDES (VHF data exchange system) に今後置き換わる見込みである。VDESは、約60機の衛星で全球をカバーするが、このシステムの「R-Mode」は簡易な測位が可能である。VHFを使用するため、ホイップアンテナで受信可能であるが、測位精度は劣る。現在は試験段階であるが、すでにノルウェーは試験衛星を運用した経験を有し、今後数年で、我が国も含めかなりの数のVDES衛星が打ち上げられる計画であり、システム構築のための先行投資の一部として利用できる。民間企業を中心とした国際アライアンス (VDES alliance¹⁴) および日本国内の企業を中心としたVDESコンソーシアム¹⁵が2022年に創設され、活動を行っている。

成層圏プラットフォーム (HAPS) とは、飛行船やソーラープレーンを利用して、高度約20km以上の成層圏に滞空するプラットフォームである。成層圏とは、地球大気の鉛直構造において対流圏と中間圏の間に位置する、高度11~50kmの空間である。

日本では、1999年からミレニアム・プロジェクトのひとつとなり、総務省 (NICT)、文部科学省 (JAXA、JAMSTEC) などの組織を横断した研究開発が行われた。JAXAおよびNICTで2種類の試験機が開発され、2003年には高度16キロメートルまでの上昇、2004年には全長68メートルの試験機による高度4キロメートルでの定点滞空を実証したが、同時期に地上通信網が整備されたため、通信基地および中継基地としての可能性が低いと判断され、プロジェクトは終了した²⁾。

2019年4月、ソフトバンク株式会社は、子会社であるHAPSモバイル株式会社による事業に着手し、米エアロバイロンメント社の協力のもと、高度約20キロメートルを飛行可能な無人航空機「HAWK30」を開発したことを発表した²⁾。鉄塔型の地上基地局の削減及び、通信圏外となるエリアを大幅に減らすことができ、山岳部や離島などの地上基地局の設置が困難な場所での通信を可能とすることを目指している。また、ISR (偵察監視) 用のペイロードを搭載し、MDAのプラットフォームとする可能性も視野に入れている。

現在の技術では、一般的な基地局が通信可能な範囲は、直線距離にして約100km程度と言われているが、高度約20kmの成層圏に基地局を1つ配置すると、半径約100kmの範囲が通信圏となる。そのため、数多くが必要な地上基地局に比べ、約40機の「HAWK30」で日本列島全体をカバーできるとしている。

この成層圏プラットフォームは、ソーラーパネルを搭載した全長約78メートルの翼に10個のプロペラを備え、平均時速約110キロメートルで飛行する (図2-1参照)。このプラットフォームが実現した背景には、太陽光発電や蓄電技術の進展ある。携帯電話の基地局を搭載したHAPSを飛ばし続けるには、太陽光による発電エネルギーを蓄積して夜間も飛行を継続し、信号を送受信できる仕組みも必要である。サービス維持に必要な電力の確保、消費電力の低減、軽量化といった先進技術の組み合わせにより、無人空中基地局の実現に向けた取組が進められている。

¹⁴ <https://www.vdes-alliance.org/>

¹⁵ <https://www.jmd.co.jp/article.php?no=281558>



図2-1 成層圏通信プラットフォーム向け無人航空機「HAWK30（ホーク30）」
(出典：参考文献3)

ロランの再構築には地上局が必要である。最大の課題は船舶等に専用受信機を用意しなければならない点で、これはGNSSのバックアップ以外に用途がなく、eLORANの普及を阻んでいる。一方で、我が国周辺海域をカバーでき、完全に我が国がコントロール可能なシステムを構築できることは利点である。

対処に必要な技術要素

衛星VDESのシステム構築が検討されているが、国際的な運用やデータを管理する機構やシステムのあり方は未定である。異なる国の衛星間でのローミングを可能とし、データの秘匿性を確保しつつ、事業者の利便性を実現するための制度や規則が必要である。

現時点において、成層圏プラットフォームの技術は完成に近づいていると考えられるが、空気の薄い成層圏で機体を定点維持する技術の確立が必要である。さらに、商用のプラットフォームに国家の安全保障機能を共存させる仕組みづくりも必要である。

上述のとおりeLORANは、GNSSのバックアップのみを目的としており、単なるバックアップシステムでは維持管理に限界がある。構築費用の抑制やデュアルユース、トリプルユースといった、多様なユースケースを実現する技術が求められる。

2) 海底ケーブルの脆弱性対策の検討

海外との情報通信は衛星経由と海底ケーブル経由があるが、遅延の少なさ、通信容量の大きさから、大半が海底ケーブルを通じて行われている。海底地滑りによる海底ケーブルの切断は1929年にカ

ナダ沿岸で発生したものが有名である¹⁶が、台湾地震、東北地方太平洋沖地震、トンガでの噴火でも海底通信が途絶している。自然災害だけでなく、投錨や底引き漁業で海底ケーブルが損傷することもある。我が国においても揚錨時に海底ケーブルを引き上げてしまって断線させ、国際通信が途絶した例がある。投錨や底引き網漁業によるケーブルへの損傷を防ぐため、海底ケーブルの敷設位置は海図に記載することとされている。これは、海図情報をもとにケーブル位置を把握し、意図的に海底ケーブルを損傷させることが可能ということでもある。一例を挙げれば、台湾本島と馬祖列島を結ぶ海底ケーブルが2023年2月に7日間で2回切断され、いずれも中国船が通過した時間帯であったとの報告がある¹⁷。全ての船舶の位置を常時監視することで、ケーブル直上での停船を把握することは可能と思われるが、ケーブルが損傷する前に対応することはほぼ不可能である。

海底地滑りや海底噴火による海底ケーブルの断線を防ぐことも困難である。こうした原因による海底ケーブルの切断は今までに世界各地で経験されているため、海底ケーブルの敷設に当たって経路選定の際にある程度の配慮はなされている。しかし地滑りや乱泥流は発生場所が予測できないこと、発生する可能性がある範囲が極めて広域に及ぶこと、埋設しても埋設深度が浅い場合切断を避けられないこと等から、ケーブル切断の回避は現実的には不可能で、地震・火山噴火による海底ケーブルの断線は引き続き発生している。このため、海底ケーブルの敷設経路の冗長化等を検討する必要がある。



図2-2 東北地方太平洋沖地震の際の海底ケーブルの障害¹⁸

¹⁶ <https://www.earthmagazine.org/article/benchmarks-november-18-1929-turbidity-currents-snap-trans-atlantic-cables/>

¹⁷ <https://www.yomiuri.co.jp/world/20230218-0YT1T50017/>

¹⁸ <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210309/k10012904451000.html>

脅威④ 燃料供給の遮断

船舶の多くは燃料に重油や軽油を使用しているため、石油の安定供給が滞ると運航できなくなる。船舶運航以外にも、我が国の経済活動のあらゆる部分で石油が使用されており、石油の安定供給に支障が生じた場合、船舶運航の停止に留まらず、社会活動全般に甚大な影響が生じるため、燃料供給の遮断という事態への対策は本稿の域を越える。

石油の安定供給が阻害されることへの対策は、脱CO2対策により一部実現しつつある。すなわち風力利用、液化天然ガス燃料、電気推進などである。石炭を燃料とする蒸気タービン推進も脱石油対策ではあるが、脱CO2と相容れるものではない。原子力推進は燃料供給遮断の懸念が殆どなく、また脱CO2にも寄与するものでもある。三菱重工業が開発中の超小型原子炉（直径1m、長さ2m）は電力出力が500kW（666馬力）とされており、このようなマイクロ炉を船用に開発することは可能であろう。ちなみに原子力船「むつ」の出力は1万馬力であった。

燃料供給の遮断としては、エネルギー源の変遷の過程における供給のミスマッチにも考慮する必要がある。海上交通において脱CO2を実現するのが、電力船か風力船か水素船かアンモニア船かネットゼロ船であるかを現時点で見通すことはできないが、いずれにせよ、将来のある時点で石油の供給が先細りし、代替燃料がその時点の需要を満たすことができない可能性もある。このため、海上物流において燃料の奪い合いが生じる可能性を考慮しておく必要がある。

紛争や戦争により石油の輸入が完全に止まった場合に備え、海上の物流維持に必要な燃料の確保策を、配送方法も含めて検討しておくことは重要である。

<特記事項 海洋温度差発電>

脱CO2対策や燃料供給遮断への対応として、船舶の動力源に電気を使用することは有効である。一方、現在の電力は6割が輸入に依存する石炭、LNG及び石油であり、セキュリティ上の課題を抱えている。再生可能エネルギーは増加しつつあるが、天候等に左右されるため、ベースロードを支えるためには揚水発電等の二次電池が不可欠である。

この状況に対処するため、我が国独自のエネルギーとして海洋温度差発電を強力に推進すべきである。風力や太陽光と異なり、海洋温度差発電は安定して大規模な電力を供給できるため、ベースロード電源とすることができる。

海洋温度差発電は、表層の温かい海水と深層の冷たい海洋水の温度差を利用して発電する技術である。表層の温水で作動流体（アンモニア等）を蒸発させてタービンを回し、深層から汲み上げた冷水で作動流体を液体に戻す。このサイクルは火力や原子力発電所と同じであるが、低温熱源として約5～10℃の深層水（冷海水）、高温熱源として約20～30℃の表層水（温海水）を使うことが異なる。

温水と冷水の温度差が15度程度あれば、深層から汲み上げるのに必要なエネルギーを上回るエネルギーが得られる。発電機を陸上に設置する場合、深層水の揚水用のパイプの距離を（設置コスト低減、揚水中の温度上昇の回避のため）短くする必要があり海岸から急峻な海底地形の場所を選ばねばならない。発電機を浮体に設置すれば深層水のパイプ長を最短にでき、汲み上げるエネルギーを極少化できる。台風が来ない赤道周辺に浮体式の海洋温度差発電所を設置し、得られたエネルギーを液体化し

てタンカーで我が国に運ぶ方法により、大容量の備蓄可能なエネルギーを得ることができる。なお発電方式は①オープンサイクル、②クローズドサイクル、③ハイブリッドサイクルの 3 種類がある¹⁹。クローズドサイクルの例を図示する（図2-3）。

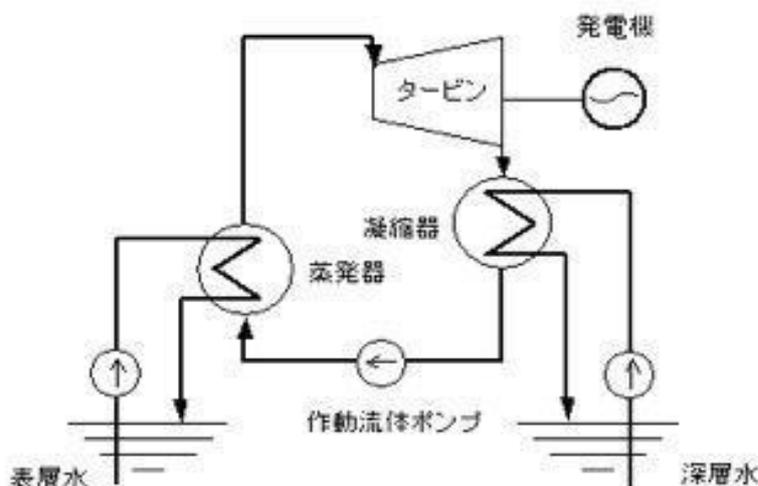


図2-3 クローズドサイクルの例²⁰

環境省の2008年の報告書では、2050年時点で海洋温度差は40TWhと見積もられ、これは80TWhと見積もられている洋上風力に匹敵する。現在久米島で小規模な運転がされており、その規模での技術的問題は報告されていない。海洋温度差発電は大規模にするほど効率が急激に良くなるが、大規模な設備の初期投資が大きい実用化へのハードルが高い。このため、大規模設備の実証のための投資が必要である。

海域が平穏でかつエネルギー効率のよい赤道周辺海域（表面温度が年中高い海域）での浮体による海洋温度差発電は、赤道周辺の島嶼国の支援にもなる。このため、大規模な浮体式海洋温度差発電の実現に向けた技術開発（浮体・係留システムの開発、エネルギーの液化・再気化の飛躍的効率向上）を強力に推進するべきである。あわせてこれら島嶼国海域での海洋温度差発電に向けて、国際環境を醸成して行く必要がある。

発電で得た電力で水素を製造し、アンモニアやシクロヘキサンのような常温の可燃液体に変換すれば、石油同様備蓄や運搬が可能なエネルギーとなる上、化石燃料からの脱却が困難な航空機のみならず、船舶、自動車等多くの移動体のエネルギー源として化石燃料を代替できる可能性があり、このための技術開発を強力に推進するべきである。

¹⁹ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構。「海洋温度差発電の技術の現状とロードマップ」. NEDO再生可能エネルギー技術白書. Retrieved from: <https://www.nedo.go.jp/content/100107275.pdf>.

²⁰ 佐賀大学海洋エネルギー研究所. Retrieved from: https://www.ioes.saga-u.ac.jp/jp/ocean_energy/about_otec_0/about_otec_02

脅威⑤ 地震・津波・その他の災害

<海洋観測の飛躍的な充実・強化>

地震の発生予知は、観測点が稠密な陸上においても実現していない。一方、海上では弾性波探査（音波探査）が陸上に比べて容易なため、伏在断層を含めた断層を発見・特定することが、陸上よりも技術的に容易である。高密度・高分解能の音波探査及び地形調査によって海底断層の全体像を明らかにすることは、防災・減災対策に資するものである。

大規模な津波を発生させる海域の大規模な活断層は、海底に明瞭な地形のシグナルが現れているため、高分解能の海底地形調査とこれに引き続く反射法弾性波探査で得られる情報が有効である。また、大規模な津波は海底地滑りによっても発生する。海底地滑りの発生歴や発生の可能性を明らかにするためには、高分解能の海底地形情報・表層地質情報が有効である。

深海では、高分解能の地形情報・表層地質情報を得るためAUVを使用することが最も現実的であり、AUVを用いた観測システムの確立は有効である。

海底火山の噴火予知は、地震計による火山性微動の観測により、ある程度可能である。噴火の可能性のある海域では地磁気の異常が見られるため、地磁気探査の結果をもとにオンラインの地震計やハイドロホンを敷設し、常時監視することが有効である。ただし、噴火が起こる地点と時期を予知するための科学的知見は未だ十分とは言えず、今後10年間での詳細な予知は困難と考えられる。

フリークウエーブの研究においては、気圧、風、海・潮流及び海底地形に関する空間的・時間的な高分解能のデータが必要である。また、そのようなデータによって明らかにできることを専門家が提示する必要がある。一方、どのようなフリークウエーブ予報が必要であるかを専門家に伝える必要もある。フリークウエーブによる災害を防止するには、前述のように高分解能・リアルタイムのモニタリングによる海面高度情報が有効で、これについては後述する。

<東日本大震災の復旧に従事した現場担当者の知見のレビュー>

東日本大震災の現場復旧に関する多くの報告書がまとめられているが、これが集団知として体系的に共有、あるいは東南海で被災の蓋然性が高い自治体や組織において適切に活用されているとは言い難い。現場での復旧に従事した担当者の知見は価値が高く、記憶が失われる前に、これをビッグデータとして整理し、今後に生かすべきである。

<海底ケーブルの複数経路化>

情報化社会において、通信の断絶は大きな経済的損失をもたらす。海底に敷設された通信ケーブルは、複数経路による冗長化がある程度行われているが、ノードが被災した場合は影響が避けられない。このため、海底ケーブルの破断に対して取りうる対応、あるいは対応の可否について検討し、更なる冗長化を進めるべきである。

<メタンハイドレートによる船舶交通への危険>

メタンハイドレートは一定の圧力と温度の条件（高圧・低温）が満足されないと水とメタンガスに分離し、メタンガスを放出する。このため、地震による海底地滑りで上層の土砂が削剥されると下部にあったメタンハイドレート層の圧力が下がりメタンガスが放出される可能性があり、また、温暖化等の影響で地底温度が上昇するとメタンハイドレートが分解しメタンガスとなることが懸念されている。我が国周辺においてもは、地中及び海底表面のメタンハイドレートが海底を離れた（ガスとなって浮上した）痕跡が残っている海域がある。仮にメタンガスが海底から大規模に放出され、メタンガスのプルームが海面まで上昇すれば、航行船舶に危険が生じる恐れがある。すなわち、プルーム内にはメタンガス気泡が多いため海水の密度は低くなり、船舶の浮力が減少するため、プルームに船が遭遇すると突如海面下に落ち込むことになる。確認されてはいないが、バミューダトライアングルにおける船舶の消失は当該海域に賦存するメタンハイドレートの暴発のせいではないか、との説がある。この説の指摘に応じて米国は海底の調査を行なったが、消失した船舶は発見されなかった、とされている。ただ、この調査が海底に埋もれた船舶を見つけるだけの精度と分解能とカバレッジを持ったものであったかは疑問であり、メタンハイドレート暴発説が否定されたとは言い切れない。南海トラフ沿いのメタンハイドレート稠密賦存域の上方海面は我が国の経済活動を支える船舶の主要な航路である。大規模な地震がこの海域で発生すると海底地滑りによりメタンハイドレートの圧力バランスが崩れてメタンガスが大量に発生し、上方の航行船舶に危険が生じる可能性、また、一旦被災した場合には環境や経済活動に甚大な影響がでる可能性が懸念される。

こうした災害の発生を予測するには、高分解能の海底地形調査と海底音波探査、メタンハイドレート暴発検知システムの開発、リアルタイムの地形変動モニタリング及び水中音観測が有効である。メタンハイドレート放出のモニタリングに関する研究は不十分で、今後研究を進めることが必要であるが、蓋然性の高い海域の海底表面地形の繰り返し観測から有益な情報を得ることができる。メタンハイドレートの状況を把握するための海底表面地形の詳細な把握（分解能が数センチメートル程度）は、メタンハイドレートの挙動把握だけでなく、海底活断層の挙動把握、生態系の把握、海底資源探査等、多様に利用できる。このような情報は海底底上でAUVに装備した高分解能サイドスキャンソナーの観測により取得可能で、複数AUVの長時間完全自律運航技術が確立されれば実現可能である。このようなデータにより、敵性国やテロリストによる機雷やセンサーの設置を検出（米国が既に実施）でき、行方不明の沈没船等の発見も可能になる。

<GNSSを補完する測位システムの整備>

我が国では、準天頂衛星「みちびき」がGNSSを補強・補完する機能を有している。また、高度約20km以上の高度に滞空する成層圏プラットフォーム（成層圏気球やソーラープレーンなど）により、GPSが機能しない場合でも高い精度を得られる、わが国独自の測位システムを構築することも可能である。こうしたシステムは、GNSSとの互換性を持たせ、通常時はGNSSの補強システムとして活用することが適当である。このようなシステムにより、GPSの機能低下時においても測位精度を維持でき、平時においてはGPSの精度を補強できる。ただし、電磁パルス攻撃や大規模な太陽フレアの際には、GPS同様に機能しなくなる。成層圏プラットフォームについては後述する。